



**Comportement et étude des graves-émulsion:
Coopération public-privé. Méthodologie de préparation,
d'instrumentation et de suivi de chantiers
expérimentaux d'enrobés à froid à l'émulsion de bitume**

Louissette Wendling, Dominique Guedon, Vincent Gaudefroy, Lionel Odie,
Jean Claude Fabre, Jean Maurice Balay, Anne Millien, Chantal de La Roche

► **To cite this version:**

Louissette Wendling, Dominique Guedon, Vincent Gaudefroy, Lionel Odie, Jean Claude Fabre, et al..
Comportement et étude des graves-émulsion: Coopération public-privé. Méthodologie de préparation,
d'instrumentation et de suivi de chantiers expérimentaux d'enrobés à froid à l'émulsion de bitume.
Revue générale des routes, 2011, 897, pp 75-79. hal-00850786

HAL Id: hal-00850786

<https://hal.science/hal-00850786>

Submitted on 8 Aug 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AUTEURS

Louissette Wendling
Ingénieur de recherche
Division Laboratoire d'Autun
Centre d'études techniques
de l'Équipement (CETE) de Lyon

Dominique Guedon
Technicien supérieur
de l'Équipement
Laboratoire régional
de Toulouse
CETE du Sud-Ouest

Vincent Gaudefroy
Chargé de Recherches
Institut français des sciences
et technologies des transports,
de l'aménagement
et des réseaux (IFSTTAR)

Lionel Odie
Responsable Unité route
durable et économe
Laboratoire régional
de Saint-Brieuc
CETE de l'Ouest

Jean-Claude Fabre
Consultant

Jean-Maurice Balay
Directeur de Recherches
IFSTTAR

Anne Millien
Maître de conférences
Groupe d'étude
des matériaux hétérogènes
Génie civil et durabilité
(GEMH-GCD)
Université de Limoges

Chantal de La Roche
Animateur d'axe
« Économie d'énergie
et de ressources naturelles »
IFSTTAR



Mise en place de l'instrumentation interne sur un chantier expérimental de grave-émulsion
Installation of in built sensors on an emulsion treated gravel experimental site

Comportement et étude des graves-émulsion Coopération public-privé

Méthodologie de préparation, d'instrumentation et de suivi de chantiers expérimentaux d'enrobés à froid à l'émulsion de bitume

Les mélanges à l'émulsion de bitume sont des techniques à fort potentiel environnemental. Cependant, leur formulation, fabrication et dimensionnement relèvent encore de démarches empiriques issues, bien souvent, de compétences locales. Pour caractériser les performances spécifiques de ces matériaux et aboutir à terme à des méthodologies d'optimisation, de formulation et de dimensionnement, il est nécessaire d'évaluer leur comportement *in situ*. Pour répondre à ces objectifs, il convient donc de suivre l'évolution des caractéristiques mécaniques et physiques du matériau tout au long des étapes de fabrication, de mise en œuvre et en conditions de service au moyen d'une instrumentation adaptée et implantée dans la chaussée. Ce type d'instrumentation n'ayant jamais été utilisé en France sur grave-émulsion, une méthodologie appropriée doit être définie.

C'est l'objet du présent article qui met en avant les spécificités d'un chantier expérimental instrumenté de grave-émulsion. Il décrit et justifie la méthodologie suivie, les capteurs employés, leur implantation, de même que les moyens de reconnaissance des pathologies des structures de chaussées utilisés. Il présente les indicateurs retenus pour évaluer le comportement des matériaux et de la structure.

Cet article est le 2^e de la série dédiée aux travaux du groupe constitué par l'IFSTTAR, le RST et les entreprises de l'USIRF.

Introduction

Dans un contexte de prise en compte croissante des préoccupations environnementales par les acteurs du monde de la route, l'IFSTTAR, en association avec le RST, a produit dès 2003, sous l'impulsion de Jean-Michel Piau,

directeur technique routes du LCPC à l'époque, une liste des actions de recherche à entreprendre pour amener les matériaux routiers traités à l'émulsion de bitume à un niveau de connaissance « équivalent » à celui des enrobés à chaud ou des matériaux hydrauliques [1, 2].

Les besoins de connaissances jugés indispensables pour accroître la diffusion de ces techniques routières, sont les suivants :

- Une méthodologie de formulation spécifique aux enrobés à froid, intégrant des méthodes de caractérisation de la réactivité

chimique des constituants et de la montée en cohésion de ces mélanges.

- La caractérisation de l'évolution temporelle de ces mélanges et l'identification des caractéristiques physiques et mécaniques pouvant être utilisées dans une démarche de dimensionnement.

Recherche Enrobés à l'émulsion

- La caractérisation environnementale.
- La méthode de dimensionnement.

C'est dans le cadre de l'opération de recherche OPTIMIRR, (optimisation des matériaux routiers économes en énergie et incorporant des recyclés de la route), initiée en 2006 et copilotée par Chantal de La Roche, Louise Wendling et Vincent Gaudet, que l'IFSTTAR et le RST ont mis en place une démarche expérimentale spécifique originale pour tenter de répondre à ces besoins [3]. Dans cette opération de recherche, priorité a été donnée à la réalisation d'une photographie des comportements *in situ* des enrobés à l'émulsion de bitume au travers du recueil de données terrain, fiables et représentatives des techniques couramment utilisées au niveau national.

Sur la base d'un « avant-projet de programme expérimental d'instrumentation d'une infrastructure routière » [4], cet article présente la description de la conception d'un chantier expérimental instrumenté avec des capteurs, spécifiques aux graves-émulsion, installés dans la chaussée. Il explicite les protocoles de suivi de l'évolution du matériau et de la structure dans le temps sous des conditions de chargement réelles. Ces protocoles résultent de l'expérience acquise par le RST dans le cadre de deux chantiers expérimentaux instrumentés (RD 20 en collaboration avec le conseil général de Haute-Garonne [5 à 9] et site du LRPC de Toulouse). Ils ont été appliqués sur le chantier réalisé en collaboration entre l'USIRF et le RST sur la RD 44 en Ile-et-Vilaine [10, 11].

La conception d'un chantier expérimental de grave-émulsion (GE) incorporant une instrumentation interne à la chaussée passe par plusieurs étapes (figure 1). Pour chacune de ces étapes, il convient de faire des choix correspondant aux objectifs poursuivis. Des méthodologies adaptées pour le recueil des données et des indicateurs d'état devront également être définis. Ces indicateurs d'état seront suivis sur plusieurs années (3 à 5 ans minimum).

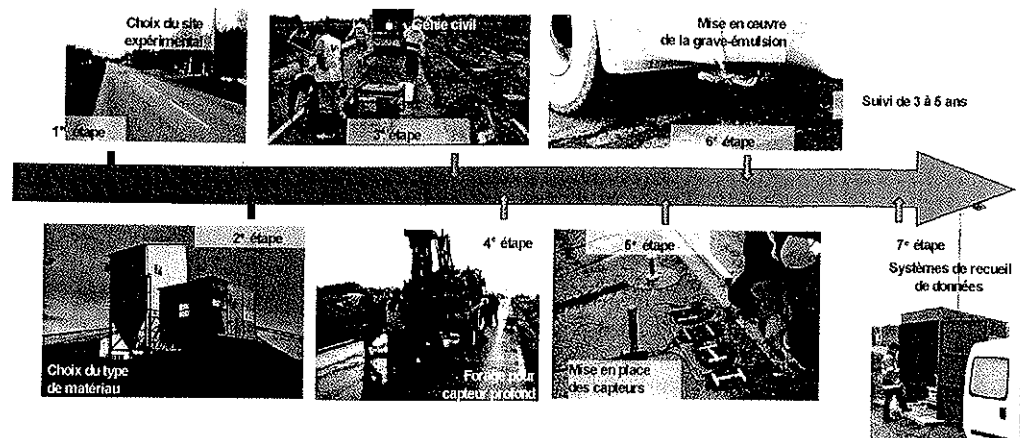


Figure 1
Etapes de la méthodologie d'élaboration d'un chantier expérimental instrumenté de grave-émulsion
Methodology steps for the construction of an emulsion treated gravel experimental site with in built sensors

Choix du site expérimental

Les graves-émulsion sont classiquement utilisées sur le réseau secondaire pour des trafics inférieurs ou égaux à T2. Le site sera donc localisé sur une section de ce type, avec un trafic le plus élevé possible (T2) pour répondre à l'objectif de dimensionnement. Les abords doivent être dégagés de tout obstacle latéral. La structure de chaussée sera de type souple. La longueur investiguée doit être de l'ordre de 300 m pour permettre l'implantation des capteurs et les auscultations externes. Le tracé en plan doit être rectiligne, le profil en long plat et l'état structurel de la chaussée jugé homogène. Un bon réseau d'assainissement latéral est requis. La configuration de l'infrastructure doit faciliter la mise en place d'une déviation du trafic peu contraignante pour les usagers.

Point zéro

Un point zéro de l'état de l'ancienne couche de chaussée est réalisé avant la mise en œuvre de la GE. Cette opération est recommandée pour relier la variabilité des indicateurs comme les déflexions, ou les pathologies observables en surface (fissuration, etc.) à l'évolution de la couche de GE et non à celle de la chaussée en place.

Type de mélange à l'émulsion de bitume

Pour répondre à l'objectif de dimensionnement, le mélange à l'émulsion de bitume retenu pour le chantier expérimental sera une GE structurante (GE type S), telle que définie dans la norme XP P98-121 [12]. L'épaisseur de la couche (12 cm), nécessaire pour l'implantation des capteurs, impose la granulométrie 0/14. La formulation, puisée dans le vivier des formules locales existantes, devra tenir compte de la nécessité de ne pas recouvrir la GE afin de pouvoir observer sa dégradation éventuelle en surface. Cela impose de choisir avec soin la teneur en liant résiduel ($\geq 4,0\%$).

La composition et les performances de la GE devront être parfaitement identifiées en utilisant les méthodes normalisées complétées par certains modes opératoires spécifiques au comportement au jeune âge : enrobage et consistance, montée en cohésion, égouttage, compactabilité [13-17]. A l'instar des travaux du thème de recherche de l'IFSTTAR « Formulation des enrobés », cette reconnaissance sera obligatoirement établie sur les mélanges effectivement utilisés [18].

Suivi dans le temps de l'évolution du mélange

Les indicateurs de l'état du mélange mis en place sont les suivants : pourcentages de vides globaux, teneur en eau, tempé-

rature, indicateurs rhéologiques tels que rigidité du mélange mesurée en laboratoire à partir de prélèvements chantier, consistance du liant extrait ainsi que son taux d'oxydation [19].

Le suivi de ces indicateurs vise à déterminer les cinétiques d'évolution *in situ* des produits dans le temps et à servir de données de calage pour définir des essais de simulation de cette évolution en laboratoire. Des mesures de pourcentages de vides *in situ* sont effectuées deux à trois fois dans la semaine qui suit la mise en œuvre, puis tous les 3 à 6 mois sur l'itinéraire, en prenant soin que l'échantillonnage soit représentatif de tout le chantier expérimental (XP P98-151) [20]. Ces mesures sont réalisées soit au GDF 30 (gammadensimètre par rétro-diffusion), soit au GPV gammadensimètre à profondeur variable (NF P 98 241-1), soit avec les deux appareils [21] (photos 1(a) et 1(b)). Les profondeurs investiguées dépendront des appareils utilisés. Pour le GDF, cette mesure correspond aux 6 premiers cm de la GE ; pour le GPV, la profondeur de mesure est variable (par exemple 7,5 et 10 cm). Chaque campagne de mesure est accompagnée d'une prise d'échantillons pour détermination de la teneur en eau et correction des densités relevées.

Des prises d'échantillons sont également entreprises pour les suivis de la composition, du liant, et si le niveau de cohésion le permet, des propriétés rhéologiques du mélange (rigidité, par exemple) (photo 1(c) et 1(d)).



(a) Mesure de densité au GDF 30

(b) Mesure de densité au GPV

(c) Prélèvements par carottage

(d) Prélèvements par sciage

(a) Density measurements using GDF 30

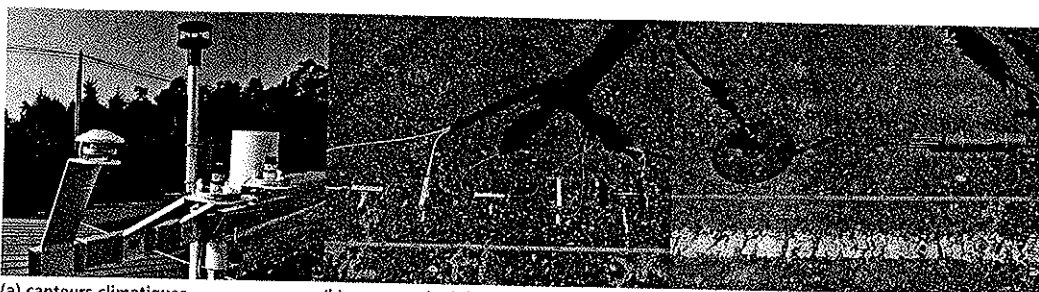
(b) Density measurements using GPV

(c) Core sampling

(d) Plate sawing

Photos 1

Opérations de suivi de l'évolution du mélange dans le temps
Survey operations of mix evolution with time



(a) capteurs climatiques,
(a) Climatic sensors

(b) capteurs de déformations
longitudinale et transversale,
(b) Longitudinal and transversal
strain sensors

(c) capteurs de déplacement vertical
et d'humidité implantés dans la couche
de grave-émulsion
(c) Vertical strain sensors and humidity sensors
in built in the emulsion treated gravel layer

Photos 2

Ces prises d'échantillons permettent également de caractériser les propriétés de collage aux interfaces.

Pour les besoins ultérieurs de recherche, des investigations peuvent être menées sur la détection de la présence résiduelle de fluxant et de tensio-actif, ainsi que des éléments de caractérisation de modèles rhéologiques. Les épaisseurs des couches de GE sont relevées précisément par auscultation radar dans les sens transversal et longitudinal en appliquant un protocole spécifique qui s'appuie sur la méthode d'essai n° 42 [22]. Ces données sont indispensables pour alimenter les codes de calculs structurels, utilisés ultérieurement pour effectuer les rétro-calculs de module à partir des résultats d'auscultation structurelle de la chaussée.

Suivi des sollicitations climatiques

Les sollicitations climatiques subies par la chaussée sont susceptibles de faire évoluer l'état du mélange. Il est donc nécessaire d'en recueillir les données afin de les corrélérer avec la prise et le mûrissement *in situ* de la GE. Ces données sont les suivantes : température ambiante, pluviosité, vent, ensoleillement. Elles sont recueillies, soit par le biais d'une instrumentation spécifique dédiée au chantier (solution optimale) (photo 2 a), soit par le biais d'un recueil de données météorologiques extérieures (via Météo France) mais représentatives de la localisation du chantier. La température d'un corps noir est relevée pour déterminer l'énergie absorbée par la chaussée, cette dernière pouvant être assimilée à un corps noir. Cette donnée permettra la modélisation thermique ultérieure de la couche de GE.

Suivi du comportement de la structure de chaussée

Comportement structurel global

Deux types d'indicateurs sont à retenir : d'une part, les pathologies observables en surface de chaussée telles que fissuration, déformations permanentes et, d'autre part, le comportement structurel global classique tel qu'il peut être identifié au travers des bassins de déflexion sous chargement contrôlé avec leurs paramètres dérivés. L'évolution de ces indicateurs au cours du temps est également étudiée. L'objectif de ce suivi est d'évaluer l'effet des états de prise et de mûrissement de la GE sur la réponse globale de la structure et également de déterminer les mécanismes de dégradation des structures de chaussées souples renforcées en GE.

Les outils classiques de diagnostic de chaussée sont donc utilisés avec des protocoles d'auscul-

tation adaptés aux configurations d'un chantier expérimental (repérage précis des points d'auscultation, choix de ces points en fonction de l'homogénéité de l'ancienne chaussée).

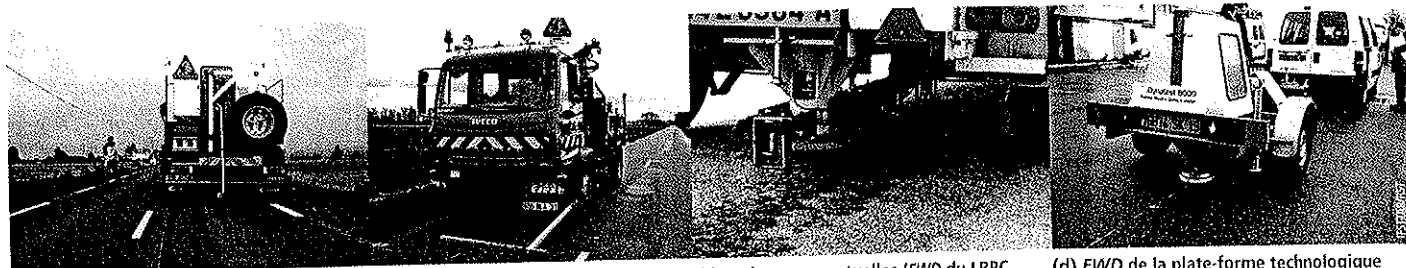
Les bassins de déflexion sont relevés de deux façons.

- Le déflectographe Flash du LRPC de Toulouse mesure les bassins de déflexion dans l'entre-jumelage d'un essieu standard de 13 tonnes (photo 3 (a)). La vitesse d'auscultation retenue est de 3 km/h, soit un pas de mesure de 5 m. Les résultats restitués sont les demi-bassins, à partir desquels sont calculés la déflexion maximale et le rayon de courbure au sommet du bassin. Ces résultats sont donc caractéristiques du comportement du matériau à faible vitesse.

- Le *Falling Weight Deflectometer (FWD)* du LRPC de Saint-Brieuc ou de la plate-forme technologique travaux publics d'Egletons (photos 3(c) et 3 (d)) est utilisé pour déterminer les demi-bassins de déflexion, les valeurs de déflexions maximales et un estimateur du rayon de courbure. Ces résultats sont caractéristiques du comportement du matériau à vitesse élevée, correspondant approximativement à 70 km/h. Un protocole de chargement adapté aux chaussées souples est choisi [23 à 25].

Ces deux types de mesures permettront la détermination des modules de la couche de grave-émulsion *in situ* à basse et haute vitesse par rétro-calcul à l'aide de modules de calcul structurels.

Recherche Enrobés à l'émulsion



(a) Charges roulantes (déflectographe Flash)
(a) Moving loads (Flash deflectograph)

(b) chargement variable « camion léger »
(b) variable loads « light lorry »

(c) et charges ponctuelles (FWD du LRPC de Saint-Brieuc
(c) and punctual loads (LRPC de Saint Brieuc FWD)

(d) FWD de la plate-forme technologique Travaux publics d'Egletons
(d) Plate-forme Technologique Travaux Publics d'Egletons FWD

Photos 3
Appareils d'auscultation du comportement structurel de la chaussée
Pavement structural behaviour investigation devices

L'évaluation des déformations permanentes avant mise en œuvre et le suivi de leurs évolutions temporelles sont réalisés avec l'outil à grand rendement Palas 2 du LRPC d'Autun, conformément aux normes françaises NF P 98-219-1 et NF P 98-219-2 et à la méthode d'essai LPC n° 39 [26 à 28]. L'indicateur retenu est l'ornièrre caractéristique, profondeur d'ornièrre en millimètres, qui est égale à la valeur maximale des profondeurs d'ornièrre calculées sur les bandes de roulement droite et gauche sous une règle virtuelle de 1,50 m au pas longitudinal de 2 m. Les mesures peuvent être également réalisées avec le transversoprofilographe.

(photos 3 (a) et (b)), pour la charge ponctuelle par application de hauteurs de chute variables au FWD (photos 3 (c) et (d)).

Un protocole d'auscultation adapté aux chaussées souples est établi en définissant pour les charges roulantes, les balayages transversal et longitudinal, et pour les charges ponctuelles, les hauteurs de chute et le nombre de répétitions.

Capteurs mis en place

Une vue schématique de l'instrumentation mise en place est présentée en figure 2. Les différents types de capteurs et leur usage sont détaillés ci-après.

Indicateurs d'état de la GE

La température de la GE est mesurée en continu, à l'aide de sondes à résistance platine (PT 100) implantées à différentes profondeurs (1 à 12 cm) (figure 2), photo 4 (a)). L'humidité est mesurée à l'aide de sondes de technologie TDR « Time Domain Reflectometry » déterminant la résistivité du matériau. La teneur en eau déduite sera représentative d'une valeur moyenne d'humidité contenue dans un cylindre de GE centré en milieu de couche de 8 cm de diamètre et de 10 cm de long correspondant à la longueur des électrodes [29] (figure 2, photo 2 c).

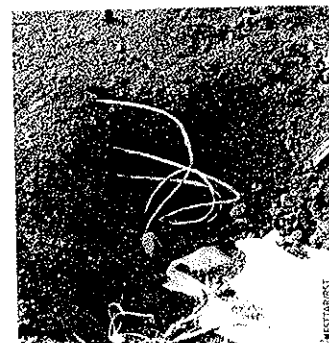


Photo 4 a
(a) sondes de température en attente
(a) Temperature sensors

Indicateurs structurels

Les déplacements verticaux de l'ancienne chaussée sont mesurés à l'aide d'un capteur ancré dans le substratum (figures 1 et 2).

Comportement local de la couche de GE

Pour évaluer ce comportement, il convient de tenir compte du fait que ce matériau réagit au jeune âge comme un matériau non lié, puis évolue plus ou moins rapidement vers un matériau bitumineux cohésif. Pour caractériser cette dualité, le choix est fait de placer dans la structure de chaussée, des capteurs permettant de mesurer simultanément, les déplacements verticaux qui sont les paramètres de dimensionnement des graves non traitées et les déformations en flexion transversales et longitudinales en fond de couche de GE qui sont ceux des enrobés à chaud.

Le caractère réversible du comportement de la couche de GE est mesuré sous charge roulante et sous charge ponctuelle. Une variabilité de chargement est créée : pour la charge roulante, par variation du poids du camion

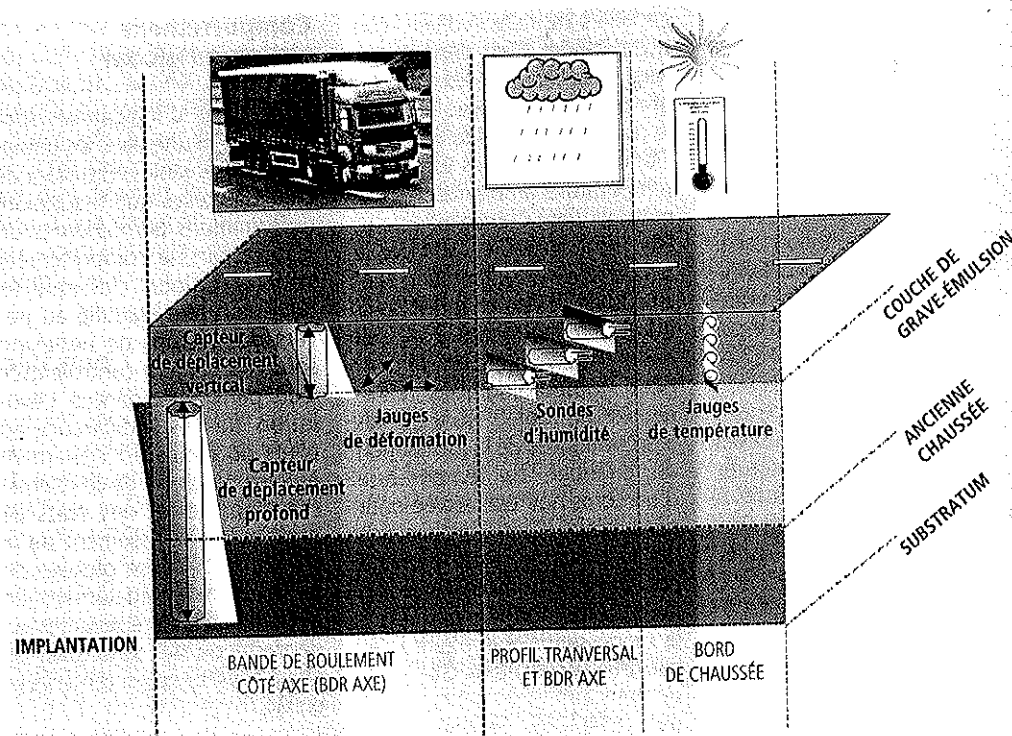


Figure 2
Vue schématique de l'instrumentation de la chaussée
Schematic view of the pavement with location of in built sensors

Les déplacements verticaux de la couche de GE sont relevés par un capteur innovant, de conception interne au RST, qui mesure les variations d'épaisseur entre l'ancienne chaussée et la surface au passage d'une charge (figure 2, photo 1 c).

Les déformations en flexion créées par les charges roulantes (ou ponctuelles) en fond de couche de GE sont mesurées à l'aide d'extensomètres en forme de H à base de jauges résistives (photo 1 b). Pour répondre aux besoins de durabilité et de protection contre les phénomènes de pollution, cette extensométrie a fait l'objet de travaux de mise au point et de conception-développement par les LRPC de Toulouse et Autun en association avec l'IFSTTAR. Ainsi les jauges résistives classiquement montées en quart de pont sont revues et de nouvelles jauges à pont complet sont développées par le LRPC de Toulouse et élaborées par l'entreprise HBM. Ces modifications permettent de s'affranchir de l'effet des variations de température sur la réponse de la jauge et augmentent la qualité du signal obtenu. Un soin particulier doit être apporté à la rigidité des extensomètres qui doit être compatible avec l'état initial et l'évolution dans le temps de celle du matériau.

Pour répondre à ce dernier besoin, un nouvel extensomètre à fibre optique, également conditionné en H et basé sur la technologie des réseaux de Bragg, est développé en collaboration avec la société Adoptis [30] en coordination avec l'opération de recherche de l'IFSTTAR « Auscultation des ouvrages par techniques d'imagerie ».

Conditions d'implantation des capteurs et du système de recueil de données

L'implantation des capteurs dans la couche de GE répond à un schéma de positionnement précis. En profil en travers, ce schéma doit également tenir compte de la géométrie de l'atelier de mise en œuvre. Afin d'assurer une répétabilité optimale des mesures, il convient idéale-

ment de tripler l'instrumentation (en fonction des moyens financiers disponibles). Si cela n'est pas possible, un doublement est cependant indispensable pour se prémunir en cas de détérioration ou dysfonctionnement de l'instrumentation. L'implantation des capteurs climatiques répond aux spécifications de Météo France.

Un système de mesure en continu des différents indicateurs d'état présentés ci-avant est installé sur le site dans un local aménagé spécifiquement (photo 4 (b)). Lors des mesures du comportement réversible de la chaussée sous sollicitations mécaniques, les capteurs des indicateurs structurels sont raccordés à un système d'acquisition mobile.

Des protocoles de pose de chaque type de capteur sont établis, ainsi que l'enchaînement des tâches, l'objectif étant également de limiter la gêne à l'usager.



Photo 4 b
(b) Exemple de local technique
(b) Example of technical shed

Fréquence des suivis

L'évolution temporelle des indicateurs retenus pour les chantiers expérimentaux est dépendante de la caractéristique considérée. En conséquence, les fréquences d'échantillonnage doivent être adaptées à la cinétique d'évolution de ces indicateurs. Elles sont prises égales à 15 minutes pour les capteurs reliés aux centrales d'acquisition fixes (données climatiques) et à 6 mois pour les mesures structurelles sous chargement contrôlé ; le point de départ correspondant aux jours suivant la mise en œuvre. Les suivis sont réalisés hors circulation. La mise en place et

la maintenance des dispositifs d'exploitation sont assurées par les gestionnaires des infrastructures. Le suivi doit être effectué pendant une durée minimale de 3 à 5 ans.

Protocole de construction

Section expérimentale de 300 m

Les enrobés traités à l'émulsion de bitume présentent une phase de prise au cours de laquelle la mise en jeu de phénomènes physico-chimiques dus à la réactivité de l'association émulsion/granulat, couplés à des sollicitations mécaniques et environnementales conduisent le matériau d'un état non lié à un état cohésif. Le poids respectif de ces paramètres sur la cinétique de prise est très mal connu. Aussi lors de la fabrication industrielle, leur composition devra être parfaitement maîtrisée et les opérations de transport, de répandage et de compactage devront assurer la continuité de cette homogénéité. Il est impératif que le produit mis en œuvre au droit de la planche instrumentée soit représentatif de celui mis en œuvre le long de l'itinéraire. A cet effet, un plan de contrôle renforcé est imposé.

En complément des contrôles de mise en œuvre classiques (composition, teneur en vides) et à l'instar des suivis réalisés dans le cadre des travaux du thème de recherche de l'IFSTTAR « Formulation des enrobés bitumineux » sur la formulation des enrobés à chaud, l'égouttage, la maniabilité (couple et maniabilité Nynas) et la compactabilité de la GE sont suivis sur site par prélèvements dans la vis du finisseur ou sur camion [13-17]. Les eaux de rupture de l'émulsion qui s'égouttent du mélange sont recueillies.

Ces données sont utilisées pour la validation de ces nouvelles méthodes d'essai et leur transposition en laboratoire.

Planche instrumentée

La réalisation d'une planche instrumentée nécessite plusieurs étapes.

Dans un premier temps, les capteurs sont étalonnés en laboratoire.

Ensuite, les travaux préparatoires tels que la réalisation du génie civil, la mise en place des capteurs de déplacement ancrés dans le substratum, le piquetage précis des emplacements des capteurs ainsi que les réservations pour le passage des câbles et les connexions sont réalisés sur le site.

L'instrumentation retenue impose un répandage, en une seule passe, de la couche de GE au finisseur en grande largeur. Les capteurs sont mis en place devant le finisseur. Les vibrations des compacteurs sont interrompues au droit des sections instrumentées. Sur ces sections, le nombre de passes du compacteur à pneus est augmenté pour atteindre les pourcentages de vides souhaités.

Conclusion

La construction d'un chantier expérimental de GE équipé de capteurs internes dédiés et soumis à des auscultations intenses sous conditions réelles de trafic, passe par plusieurs étapes.

Ces étapes regroupent les choix : du site expérimental, du mélange à mettre en œuvre, de l'instrumentation et du système de recueil de données, des moyens de suivi retenus, de la fréquence des suivis, ainsi que le positionnement du secteur instrumenté et le protocole précis de construction du chantier. Ces étapes peuvent donner lieu au développement de matériels spécifiques. Aux contraintes de constructions classiques de sections instrumentées en site propre (par exemple : manège de fatigue IFSTTAR, expérimentations Airbus Toulouse), s'ajoutent des contraintes d'exploitation de l'infrastructure.

Aussi la réussite de l'entreprise est conditionnée par un besoin d'excellence de coordination et d'implication des différents acteurs en association avec le gestionnaire de la voirie.

Les différents capteurs utilisés, les méthodologies de recueil de données et leur traitement sont en perpétuelle évolution pour s'adapter aux comportements observés.

Recherche Enrobés à l'émulsion

Remerciements

Pour leur implication et leur participation, les auteurs remercient les agents des LRPC d'Autun, Clermont-Ferrand, Saint-Brieuc, Toulouse, du groupe Matériaux pour infrastructures de transport de l'IFSTTAR, des Parcs départementaux de l'Équipement de Toulouse et de Rennes pour leurs contributions à cette étude.

Ils remercient également l'USIRF pour son soutien financier et les conseils généraux des départements de la Haute-Garonne et d'Ille-et-Vilaine ainsi que l'entreprise SCREG.

BIBLIOGRAPHIE

[1] L. Wendling, Opération de recherche « Essais et formulation des matériaux de chaussées » de l'IFSTTAR « Rapport final » Rapport interne IFSTTAR, n° 2380, mai 2006

[2] L. Wendling, Restitution des travaux du groupe « Grave-émulsion » de l'opération de recherche [1] Journées d'échanges du RST du 3 février 2005, IFSTTAR Nantes

[3] C. de La Roche, L. Wendling, cahier des charges de l'opération OPTIMIRR IFSTTAR, <http://www.lcpc.fr/francais/recherches/recherches-2010/article/5-operations-en-cours>, 2006

[4] L. Wendling, E. Maguet, « Programme expérimental d'instrumentation d'une infrastructure routière – Avant-projet », Rapport interne, opération OPTIMIRR de l'IFSTTAR, n° 1646, avril 2006

[5] C. Béal, « Les émulsions à froid : un sujet brûlant » BTP Magazine, n° 222, septembre 2008

[6] L. Wendling, V. Gaudet, « Optimirr et les chantiers expérimentaux en grave-émulsion, Étude 2006 », Journées techniques routes du LCPC, Nantes, février 2007

[7] L. Wendling, D. Guédon, J.-C. Fabre, V. Gaudet, C. de La Roche, L. Odie, « Methodology to assess *in situ* cold bituminous mix behaviour: example of a French experimental jobsite », Proceedings of the 4th Euraspalt and Eurobitume Congress, Copenhagen, Denmark, p.1 547-1 556, mai 2008

[8] V. Gaudet, L. Wendling, L. Odie, J.-C. Fabre, C. de La Roche, « Laboratory characterization of cold mix treated with bitumen emulsion », Proceedings of the Euraspalt and Eurobitume 4th Congress, Copenhagen, Denmark, p.1 557-1 567, mai 2008

[9] L. Wendling, V. Gaudet, « La route durable et les techniques à froid : la RD20 en Haute-Garonne » Séminaire du conseil général 31, des conseils généraux limitrophes, de la DIR Sud-Ouest et de la communauté urbaine de Toulouse, Toulouse, 26 novembre 2009

[10] Chantier expérimental instrumenté de GE - RD 44 - Ille-et-Vilaine, Revue générale des routes et des aéroports (RGRA), à paraître, novembre 2011

[11] L. Wendling, V. Gaudet, C. de La Roche, L. Odie, J.-C. Fabre, J.-P. Serfass, « A full-scale experimental to assess *in situ* cold bituminous mixtures behaviour », Proceedings of the 11th International Conference on Asphalt Pavements, Nagoya, Japon, août 2010

[12] Norme, XP P98-121, « Assises de chaussées - Graves-émulsion - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre », AFNOR, 2005

[13] Méthode d'essai LPC N°74 « Essai d'enrobage et de consistance - Procédure d'optimisation d'un mélange à l'émulsion de bitume à partir d'une appréciation visuelle et de sa consistance », Editions IFSTTAR, à paraître, 2011

[14] Projet de méthode d'essai LPC N° 77 « Réactivité physico-chimique d'un couple émulsion de bitume/granulats - Suivi du pH et dosage des éléments alcalins (Na, Ca, K et Mg) par spectrophotométrie d'absorption atomique à partir d'une solution d'extraction », Editions IFSTTAR, à paraître, 2011

[15] Projet de méthode d'essai LPC N° 76 « Mesure de la montée en cohésion d'un enrobé à l'émulsion de bitume - Essai de maniabilité - Essai de mesure de couple », Editions IFSTTAR, à paraître, 2011

[16] Projet de méthode d'essai LPC N° 75 « Mesure du taux d'égouttage d'un enrobé à l'émulsion de bitume », Editions IFSTTAR, à paraître, 2011

[17] L. Wendling, J. Gaschet, S. Ollier, E. Maguet, S. Gallier, P. Gineys, « Compactability of cold bituminous mixes: A new device devoted to emulsions treated gravel emulsion characterization » Proceedings of the 4th Euraspalt and Eurobitume congress, Copenhagen, 2008

[18] J.-L. Delorme, C. de La Roche, L. Wendling, Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés, Collection Études et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Routes et sécurité routière, CR 39F, Editions LCPC, novembre 2007

[19] Méthode d'essai LPC N° 69 « Identification et dosage des fonctions oxygénées présentes dans le bitume », Editions LCPC, juillet 2010

[20] Norme XP P98-151. Contrôles occasionnels du pourcentage de vides lors de la mise en œuvre avec planche de référence, février 1996

[21] Norme NF P 98-241-1. Essais relatifs aux chaussées - Mesure de la masse volumique des matériaux en place - Partie 1 : mesure ponctuelle de la masse volumique moyenne apparente par gammadensimètre à transmission directe. AFNOR, 1993

[22] Méthode d'essai LPC N°42, « Application d'un radar pulsé monostatique à l'auscultation des chaussées », Editions LCPC, 1996

[23] R. Kobich, R. Gritti, « RD 20 (31) PR 15,100 à 15,400 - Chantier de renforcement en grave-émulsion - Mesures au FWD » Rapport interne, opération OPTIMIRR de l'IFSTTAR, avril 2007

[24] F. Cisse, « Étude comparative des méthodes de mesure de la déflexion des structures de chaussée sous charge : performances et matière de dimensionnement et de diagnostics - Application au site expérimental de la RD 20 Toulouse », Projet de fin d'études, Université de Limoges, 2007

[25] N. Dieng « Evaluation, *in situ*, des performances mécaniques d'un rechargement de chaussée de type grave-émulsion », Projet de fin d'études, Université de Limoges, 2009

[26] Norme NF P 98-219-1, « Essais relatifs aux chaussées - Essais liés à l'uni transversal - Partie 1 : Mesure du profil en travers d'une voie routière - Définitions et classification », AFNOR, juillet 1998

[27] Norme NF P 98-219-2, « Essais relatifs aux chaussées - Essais liés à l'uni transversal - Partie 2 : Mesure dynamique continue du profil en travers, par matérialisation de l'intersection d'un plan et de la surface de la chaussée », AFNOR, août 1999

[28] Méthode d'essai LPC n° 39 « Études routières - Déformabilité de surface des chaussées - Exécution et exploitation des mesures », Editions LCPC, avril 1997

[29] L. Wendling, E. Maguet, P. Gineys, D. Guédon, « Chantier expérimental GE RD 20 à Toulouse - Mesures des teneurs en eau - calibrage en laboratoire - Exploitation des données terrain », Rapport interne, opération OPTIMIRR de l'IFSTTAR, octobre 2007

[30] S. Lesoille, C. Lupi, L. Wendling, V. Gaudet, J.-M. Balay, D. Guédon, P. Gineys, S. Trichet, J.-M. Henault « Application des fibres optiques à l'instrumentation des structures de chaussées », Recueil du 9^e Colloque de contrôles et mesures optiques pour l'industrie, Nantes, France 2008 ■



Behaviour and design of grave-emulsion Public-private cooperation Methodology steps for preparing, constructing and monitoring an emulsion treated gravel experimental site with in built sensors Emulsion treated gravels are environmentally friendly bituminous mixtures. However, their mix design, manufacturing, and structural design still rely on empirical procedures, more often derived from local know how. In order to characterise the specific performances of these materials and to finally develop optimization, mix and structural design methodologies, it is necessary to assess their *in situ* behaviour. To reach these goals, the material mechanical and physical characteristics evolutions have to be surveyed all along the manufacturing and laying processes, as well as during the service life, thanks to the use of in built and adapted instrumentation. This type of experimentation having never been performed in France on emulsion treated gravel, a specific methodology has to be set. This is the subject of the present paper which highlights the specificities of such an experimental site with in built sensors. The article describes and justifies the chosen methodology, the sensors used and their implementation as well as the investigation devices used to assess the pavement degradation. It also presents the indicators chosen to evaluate both material and infrastructure behaviours.